

**UNTERSUCHUNGEN DER
OSZILLATORISCHEN POTENTIALE DES
MENSCHLICHEN ELEKTRORETINOGRAMMS
UNTER KLINISCHEN ABLEITUNGSBEDINGUNGEN**

Manfred Bauleser

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Augenklinik Prof. Remky
Direktor: Prof. Dr. med. H. Remky

UNTERSUCHUNGEN DER OSZILLATORISCHEN POTENTIALE
DES MENSCHLICHEN ELEKTRORETINOGRAMMS
UNTER KLINISCHEN ABLEITUNGSBEDINGUNGEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Manfred Bauleser
aus
München

1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München:

Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. Remky

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. O.E. Lund

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 1976



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
2. Aufgaben der kleinen Unternehmen	2
3. Die kleinen Unternehmen	3
4. Die kleinen Unternehmen	4
5. Die kleinen Unternehmen	5
6. Die kleinen Unternehmen	6
7. Die kleinen Unternehmen	7
8. Die kleinen Unternehmen	8
9. Die kleinen Unternehmen	9
10. Die kleinen Unternehmen	10
11. Die kleinen Unternehmen	11
12. Die kleinen Unternehmen	12
13. Die kleinen Unternehmen	13
14. Die kleinen Unternehmen	14
15. Die kleinen Unternehmen	15
16. Die kleinen Unternehmen	16
17. Die kleinen Unternehmen	17
18. Die kleinen Unternehmen	18
19. Die kleinen Unternehmen	19
20. Die kleinen Unternehmen	20
21. Die kleinen Unternehmen	21
22. Die kleinen Unternehmen	22
23. Die kleinen Unternehmen	23
24. Die kleinen Unternehmen	24
25. Die kleinen Unternehmen	25
26. Die kleinen Unternehmen	26
27. Die kleinen Unternehmen	27
28. Die kleinen Unternehmen	28
29. Die kleinen Unternehmen	29
30. Die kleinen Unternehmen	30
31. Die kleinen Unternehmen	31
32. Die kleinen Unternehmen	32
33. Die kleinen Unternehmen	33
34. Die kleinen Unternehmen	34
35. Die kleinen Unternehmen	35
36. Die kleinen Unternehmen	36
37. Die kleinen Unternehmen	37
38. Die kleinen Unternehmen	38
39. Die kleinen Unternehmen	39
40. Die kleinen Unternehmen	40
41. Die kleinen Unternehmen	41
42. Die kleinen Unternehmen	42
43. Die kleinen Unternehmen	43
44. Die kleinen Unternehmen	44
45. Die kleinen Unternehmen	45
46. Die kleinen Unternehmen	46
47. Die kleinen Unternehmen	47
48. Die kleinen Unternehmen	48
49. Die kleinen Unternehmen	49
50. Die kleinen Unternehmen	50
51. Die kleinen Unternehmen	51
52. Die kleinen Unternehmen	52
53. Die kleinen Unternehmen	53
54. Die kleinen Unternehmen	54
55. Die kleinen Unternehmen	55
56. Die kleinen Unternehmen	56
57. Die kleinen Unternehmen	57
58. Die kleinen Unternehmen	58
59. Die kleinen Unternehmen	59
60. Die kleinen Unternehmen	60
61. Die kleinen Unternehmen	61
62. Die kleinen Unternehmen	62
63. Die kleinen Unternehmen	63
64. Die kleinen Unternehmen	64
65. Die kleinen Unternehmen	65
66. Die kleinen Unternehmen	66
67. Die kleinen Unternehmen	67
68. Die kleinen Unternehmen	68
69. Die kleinen Unternehmen	69
70. Die kleinen Unternehmen	70
71. Die kleinen Unternehmen	71
72. Die kleinen Unternehmen	72
73. Die kleinen Unternehmen	73
74. Die kleinen Unternehmen	74
75. Die kleinen Unternehmen	75
76. Die kleinen Unternehmen	76
77. Die kleinen Unternehmen	77
78. Die kleinen Unternehmen	78
79. Die kleinen Unternehmen	79
80. Die kleinen Unternehmen	80
81. Die kleinen Unternehmen	81
82. Die kleinen Unternehmen	82
83. Die kleinen Unternehmen	83
84. Die kleinen Unternehmen	84
85. Die kleinen Unternehmen	85
86. Die kleinen Unternehmen	86
87. Die kleinen Unternehmen	87
88. Die kleinen Unternehmen	88
89. Die kleinen Unternehmen	89
90. Die kleinen Unternehmen	90
91. Die kleinen Unternehmen	91
92. Die kleinen Unternehmen	92
93. Die kleinen Unternehmen	93
94. Die kleinen Unternehmen	94
95. Die kleinen Unternehmen	95
96. Die kleinen Unternehmen	96
97. Die kleinen Unternehmen	97
98. Die kleinen Unternehmen	98
99. Die kleinen Unternehmen	99
100. Die kleinen Unternehmen	100

Meiner lieben
Mutter

Inhaltsverzeichnis

A) Einleitung	1
B) Übersicht der klinisch untersuchten Anteile des ERG	1
I) Schnelle Reaktion: das ERP	1
II) Langsame Reaktionen:	2
1) Die a-Welle	2
2) Die oszillatorischen Potentiale	2
3) Die b-Welle	3
4) Die späten oszillatorischen Potentiale	4
5) Die c-Welle	5
6) Der off-Effekt	5
III) Zusammenfassung	6
C) Problemstellung	7
D) Methode	8
1) Versuchspersonen	8
2) Untersuchungsgerät und Durchführung	8
3) Adaptationsdauer	8
4) Reizintensität	10
5) Reizfarbe	11
6) Auswertungsmodus	14
7) Statistische Grundlagen	15
E) Versuchsergebnisse	17
1) Graphische Darstellungen	18
2) Tabellarium	23
3) Mittelwerte und Standardabweichungen	35
F) Diskussion und Zusammenfassung	48
G) Literaturverzeichnis	50
H) Anhang	51

A) Einleitung

"L'ERG représente la résultante des potentiels d'action rétinien, produits par une stimulation lumineuse. Il s'agit d'une réponse très complexe, composée par l'interaction de composantes négatives et positives dont l'origine intrarétinienne est très diverse. La morphologie du tracé dépend de plusieurs facteurs, à savoir les caractéristiques de l'appareillage, d'amplification et d'enregistrement, les caractéristiques du stimulus, l'état d'adaptation de la rétine et, évidemment, l'intégrité des couches rétiniennes, surtout du neuro-épithélium." (J. François, 1974)

B) Kurze Übersicht der klinisch untersuchten Anteile des ERG:

I) Schnelle Reaktion: ERP

Das ERP (Early Receptor Potential) besteht aus der initialen Welle R_1 und der darauf folgenden Welle R_2 . Die an der Cornea positive Welle R_1 ist kurz und erscheint ohne meßbare Latenz. Die langsamere und größere Welle R_2 geht der a-Welle des Elektroretinogramms voraus.

Das ERP resultiert aus der Verschiebung elektrischer Ladungen an den Molekülen des Pigmentepithels. Seine Darstellung setzt sehr hohe Reizintensitäten voraus (Brindley und Gardener-Medwin, 1966; Abrahamson und Ostroy, 1967; Hagins und McGaughy, 1967; Cone, 1967; Pak und Boes, 1967; Arden und Miller, 1968).

II) Langsame Reaktionen:

1) Die a-Welle:

Die a-Welle manifestiert sich als negatives Potential. Sie stellt die Hauptantwort der Photorezeptoren auf einen Lichtreiz dar. Ihre Latenzzeit ist sehr kurz. Sie kann bei Anwendung hoher Reizintensitäten 5 msec unterschreiten. Die Höhe ihrer Amplitude hängt sowohl vom Adaptationszustand der Retina als auch von der Reizintensität ab.

1952 unterschieden Armington und Koll. in der a-Welle zwei Komponenten mit verschiedener Kulminationszeit (a_1 und a_2); Auerbach und Burian beobachteten 1955, daß im Verlauf der Dunkeladaptation a_2 viel größer wird als a_1 .

Möglicherweise ist die a-Welle noch viel komplexer. 1967 unterschied Algvère drei Komponenten: die erste scheint durch Zapfen-, die zweite durch Stäbchenaktivität zu entstehen. Der Ursprung der dritten ist unbekannt. Für eine Verdoppelung der a-Welle unter skotopischen Bedingungen ergeben sich drei Möglichkeiten:

- a) Unterschiedliche Zapfen- und Stäbchenpotentiale
- b) Aufpfropfung eines oszillatorischen Potentials auf eine einheitliche Rezeptorenantwort
- c) Darstellung von zwei P_{III} -Komponenten (Rezeptoren- und Bipolarenpotential)

2) Die oszillatorischen Potentiale:

1953 zeigten Cobb und Morton im menschlichen ERG nach starker Lichtreizung eine Serie von

Oszillationen, die in den aufsteigenden Schenkel der b-Welle eingelagert sind. Diese Beobachtung wurde von zahlreichen Autoren bestätigt.

Die oszillatorischen Potentiale, im folgenden kurz o.P. genannt, wurden für die klinische Bearbeitung wichtig.

Sie wurden von Cobb und Morten (1953) und von Samson-Dollfus und Lods (1963) e-Welle, von Heck und Rendahl (1957) multiple Komponenten, von Bornschein und Goodman (1957) h-Wellen, von Aoki (1960) y-Wellen, von Nagata (1962) o-Wellen und von Noell und Ruedemann (1966) p-Wellen genannt.

Die Anzahl der o.P. hängt von den Untersuchungsbedingungen ab. Es erscheinen 4 oder 5 bei Dunkeladaptation, wobei das fünfte inkonstant ist (Tassy, 1966) und 3 oder 4 bei Helladaptation.

Frequenz:

Die Intervalle zwischen den einzelnen o.P. sollen ungefähr 7 msec betragen. Die Frequenz scheint bemerkenswert konstant. Eine Reizerhöhung verkürzt zwar ihre Kulminationszeit, verändert aber nicht die Frequenz (Yonemura, 1964; Genest, 1964; Ruedemann, 1966; Brunette, 1969).

Ursprung:

Mit Hilfe von Mikroelektroden konnten Yonemura und Koll. 1963 die o.P. der inneren Körnerschicht zuordnen. Diese Feststellung bestätigen die Untersuchungen von Doty und Kimura (1963), von Yokoyama und Koll. (1966) und von Auerbach (1966).

3) Die b-Welle:

Die b-Welle ist die Hauptkomponente des klinischen ERGs. Sie stellt sich, je nach dem

Untersuchungsbedingungen verschieden dar. Mit der Erhöhung der Reizintensität verkürzt sich ihre Latenzzeit und ebenso auch die Kulminationszeit, jedoch die Amplitude vergrößert sich unter diesen Bedingungen. Auch die b-Welle kann das Phänomen der Verdoppelung aufweisen (Motokawa und Mita, 1942; Adriañ, 1945). Man unterscheidet eine photopische b-Welle, genannt b_1 und eine skotopische b-Welle, genannt b_2 . Somit stellt die Welle b_1 die Antwort der Zapfen und die Welle b_2 die Antwort der Stäbchen dar.

Bei Gebrauch von weißem Licht resultiert die b-Welle aus dem Zusammenspiel von b_1 und b_2 . Die zwei Systeme, das der Zapfen und jenes der Stäbchen, tragen beide zur Ausbildung der b-Welle bei, indem sie in von einander unabhängiger Art und Weise wirken. Die Antwort der Stäbchen besitzt ihre eigene Charakteristik, die durch die Antwort der Zapfen nicht beeinflusst wird. Wenn man die Aktivität der Zapfen ausklammert, ist die Reaktion der Stäbchen in keiner Weise verändert (Gouras, 1966; Berson und Koll., 1969; Alpern und Koll., 1972).

Die Mikroelektroretinographie ermöglicht es den Ursprung der b-Welle im Niveau der inneren Körnerschicht zu lokalisieren (Tomita und Funaishi, 1952; Brown und Wiesel, 1961). Es scheint, daß sie nicht durch die Neuronen, sondern vielmehr durch die Gliazellen der Retina, insbesondere durch die Müllerschen Stützzellen bewirkt wird.

4) Die langsamen, späten o.P.:

Prijot und Koll. haben 1964 im photopischen ERG eine zweite positive Welle beschrieben, die nach

der b-Welle erscheint. Auerbach hat 1962 und 1966 2 bis 3 Oszillationen gefunden. François und Koll. sind der Meinung, daß diese langsamen o.P. zu den photopischen Reaktionen gehören.

5) Die c-Welle:

Die c-Welle scheint beim Menschen sehr in- konstant zu sein (Vanysek, 1954; Arden und Fojas, 1962). Insbesondere beobachteten Kohl- rausch und Koll. 1931 ihr Fehlen bei Dunkel- adaptation. Die Latenzzeit der c-Welle ver- ändert sich mit der Intensität des Reizes (Dodt, 1961).

Es hat den Anschein, daß die c-Welle im Pigmentepithel der Retina entsteht (Brindley, 1960; Granit, 1962; Tomita, 1963). Mit Hilfe von Mikroelektroden, die in das Pigment- epithel eingebracht wurden, konnte man zeigen, daß die intrazelluläre Antwort dieselbe Ent- wicklung aufweist wie die c-Welle (Brown und Wiesel, 1962; Steinberg und Koll., 1970).

6) Der off-Effekt:

Die Polarität des off-Effekts hängt vom Retina- typ ab: negativ beim Stäbchentyp (Granit, 1947; Brown und Koll., 1965; Cone und Ebrey, 1965; Brown, 1968; Yonemura und Koll., 1969;) positiv beim Zapfentyp (Granit, 1947; Arden und Tansley, 1955).

Der off-Effekt beim Menschen ist negativ bei Verwendung von schwachen Reizintensitäten und positiv bei Verwendung von starken (Dodt, 1951; Bornschein und Schubert, 1953; Best und Bohnen, 1957; Heck, 1957; Horwarth, 1961; Nagata, 1964; Biersdorf, 1968).

Die initiale Phase des positiven off-Effekts

wird durch Helladaptation kaum beeinflusst; sie wird durch die Aktivität der Zapfen bestimmt (Kawasaki und Jakobson, 1969).

Ursprung:

Der negative off-Effekt entsteht nach Untersuchungen mittels Mikroelektroden in der inneren Körnerschicht.

III) Zusammenfassung:

- a) Das ERP (Wellen R_1 und R_2) entsteht im Pigmentepithel.
- b) Die a-Welle scheint aus 2 oder 3 Anteilen zu bestehen. Sie stellt die Antwort der Photorezeptoren dar.
- c) Die oszillatorischen Potentiale im ansteigenden Schenkel der b-Welle (zwischen 3 und 5) entstehen in der inneren Körnerschicht.
- d) Die b-Welle (photopische Welle b_1 und skotopische Welle b_2) beruht auf Aktivität im Niveau der inneren Körnerschicht, wahrscheinlich der sogenannten Müllerschen Stützzellen.
- e) Die langsamen, späten o.P. (2 bis 3 Oszillationen nach der b-Welle) scheinen Erregungen des photopischen Systems anzuzeigen.
- f) Die c-Welle (beim Menschen inkonstant) entsteht anscheinend im Pigmentepithel.
- g) Der off-Effekt ergibt sich negativ bei schwachen Reizintensitäten und positiv bei starken Reizintensitäten. Der Ursprung liegt wahrscheinlich in der inneren Körnerschicht.

C) Problemstellung:

nach 12'
Dunkel-
adaptat.

nach 9'
Dunkel-
adaptat.

nach 6'
Dunkel-
adaptat.

nach 3'
Dunkel-
adaptat.

nach 3'
Hellad.

mesop.
ERG

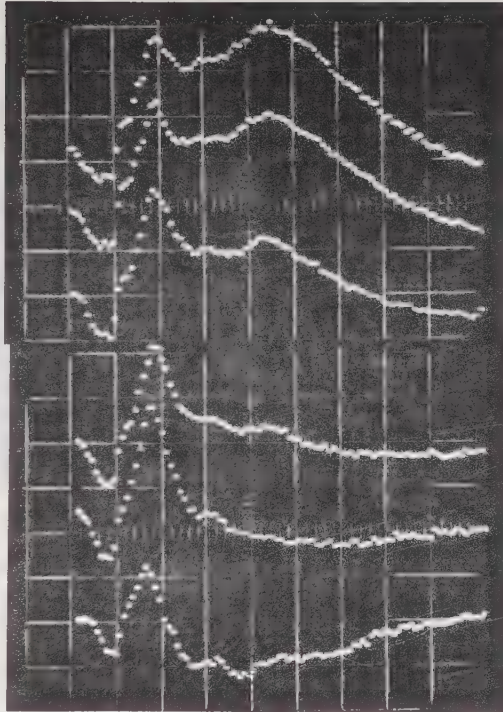


Abb. 1:

von unten nach oben: mesopisches ERG, nach 3 min
Helladaptation (2500 Lux), nach 3,6,9,12 min
Dunkeladaptation.

Die eigenen Versuche hatten das Ziel die o.P.
zwischen dem Tiefpunkt der a-Welle und dem Kul-

minationspunkt der b_1 -Welle in Abhängigkeit von der Dunkeladaptation zu untersuchen.

D) Methode:

1) Versuchspersonen:

Es stellten sich 25 Versuchspersonen im Alter von 18 bis 47 Jahren zur Verfügung. Davon waren 18 männlichen und 7 weiblichen Geschlechts. Bei allen Versuchspersonen war das untersuchte Auge klinisch und funktionell gesund.

2) Untersuchungsgerät und Durchführung:

Elektroretinograph, Typ Pantops 200 (Ferlux):
Summationscomputer, Kathodenstrahloszillograph,
Registrierung durch Polaroidkamera.

Stimulus: Xenon Blitz 0,8 Joule

Zeitkonstante: 0,2 sec

Helladaptation: 2500 Lux

Elektroden: Plexiglasschalen mit Methyl-
cellulosefüllung

Die Analysezeit einer Aufzeichnung beträgt 50 msec, sie setzt 15 msec nach Reizende ein. In der photographischen Darstellung ist lediglich der Kurvenverlauf von der 15. bis zur 60. msec berücksichtigt. Für jede Einzelanordnung wurde die Reaktion auf 50 Reize summiert.

Nach 3 Minuten Helladaptation erfolgten im Abstand von 2 Minuten die Ableitungen der o.P. unter den oben erwähnten Bedingungen.

3) Adaptationsdauer:

Um die geeignete Untersuchungszeit, d.h. die optimale Dunkeladaptationsdauer zu ermitteln wurde im Vorversuch die Dunkeladaptation erst

nach der 14ten Minute beendet. Da sich aber nach der 8ten Minute keine auffällige Änderung von Anzahl und Frequenz der o.P. mehr ergab, beschränkten wir uns auf eine Adaptationsdauer von 8 bis 10 Minuten.

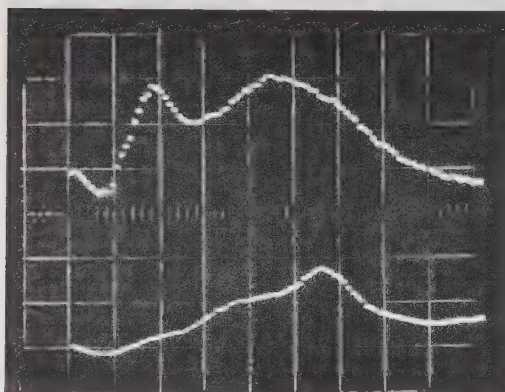


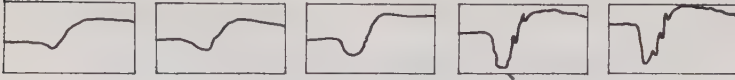
Abb. 2:

Oben: die Kurve eines normalen ERGs in der 12ten Dunkeladaptationsminute. b_2 -Welle größer b_1 -Welle = Zustand jenseits des Kohlrauschknicks.

Unten: die o.P., die seit der 8ten Dunkeladaptationsminute unverändert geblieben sind.

4) Reizintensität:

Tsuzuki und Aoki (1962) haben auf die Beziehung zwischen Reizintensität und o.P. hingewiesen:



0,25 Joule 0,5 Joule 1,5 Joule 15 Joule 90 Joule

Die eigenen Untersuchungen ergaben jedoch, daß bereits eine Intensität von 0,8 Joule ausreicht, wenn die Registrierungsempfindlichkeit groß ist.

In den folgenden Abbildungen 3 und 4 (von unten nach oben) sind die o.P. durch Reizintensitäten von 0,2, 0,4 und 0,8 Joule erzeugt (Summation von je 50 Reizen).

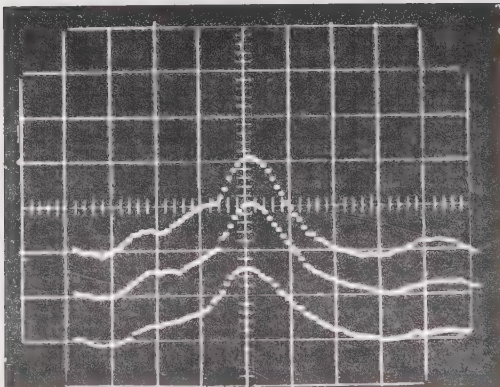


Abb. 3

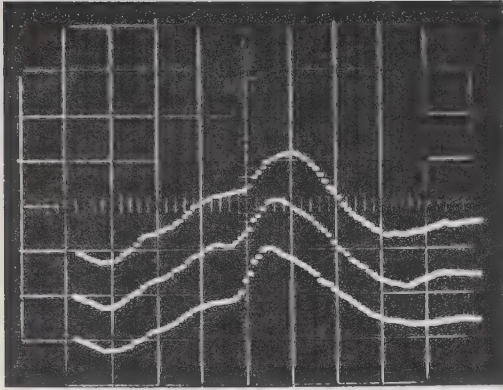


Abb. 4

5) Reizfarbe:

Um die Frage zu klären, ob Reizung des photopischen Systems oder des skotopischen Systems (weiß oder orange) eine optimale Darstellung der o.P. ermöglicht, wurden vergleichende Ableitungen vorgenommen.

Oben: Orangereizung

Unten: Weißreizung

Analysezeit: ab 15. msec nach Reizende, insgesamt 45 msec.

Abb. 5: mesopisches ERG

Abb. 6: nach 2 min Helladaptation

Abb. 7: nach 5 min Dunkeladaptation

Abb. 8: nach 6 min Dunkeladaptation

Abb. 9: nach 9 min Dunkeladaptation

Abb. 10: nach 12 min Dunkeladaptation

Abb. 11: nach 15 min Dunkeladaptation

Abb. 5:

mesop.

ERG

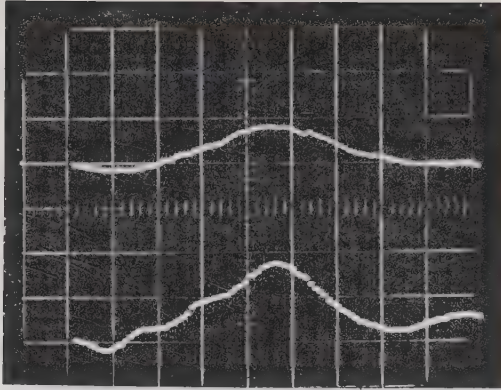


Abb. 6:

nach 2'

Hell-

adapt.

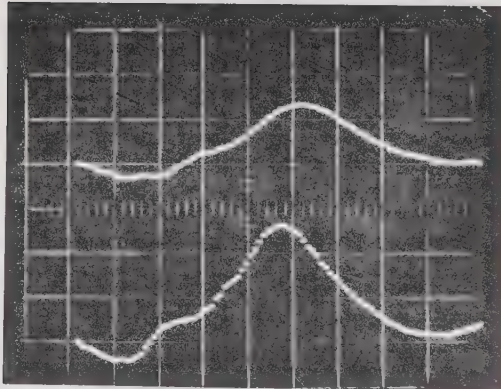


Abb. 7:

nach 3'

Dunkel-

adapt.

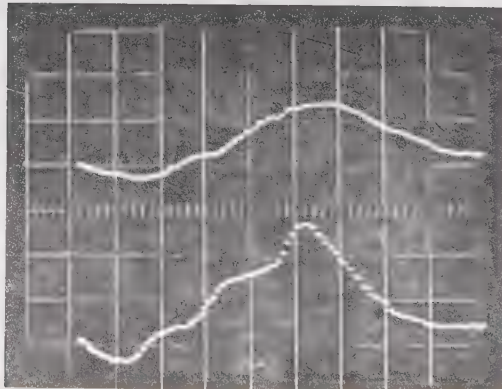


Abb. 8:

nach 6'
Dunkel-
adapt.

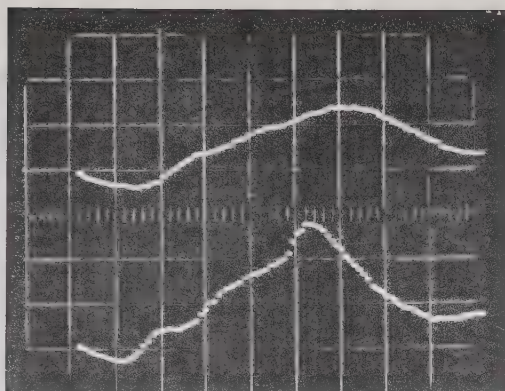


Abb. 9:

nach 9'
Dunkel-
adapt.

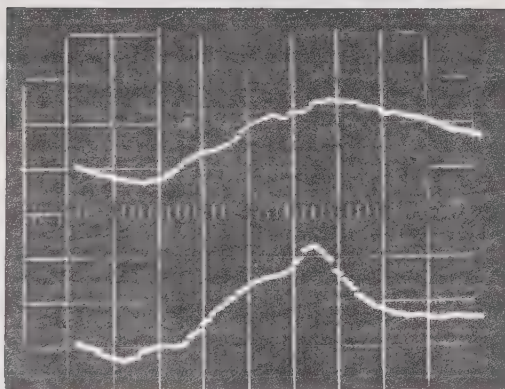


Abb. 10:

nach 12'
Dunkel-
adapt.

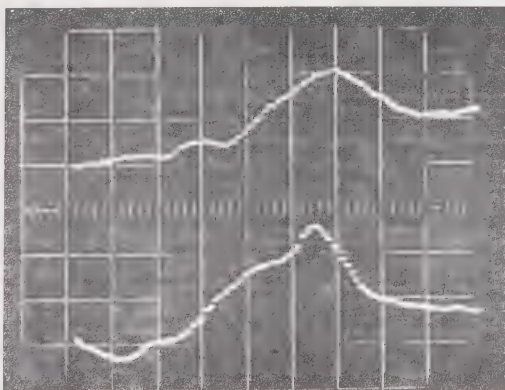
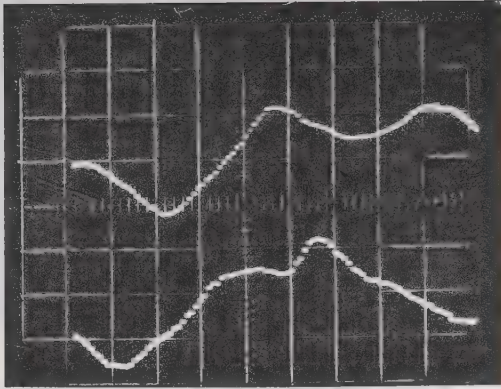


Abb. 11:

nach 15'
Dunkel-
adapt.



Da Weißreize deutlichere o.P. auslösen, wurden solche für unsere Versuche verwendet.

6) Auswertungsmodus:

Die horizontale Achse des Photogramms bildet die Zeitachse: ein Quadrat = 5 msec, ein Teilstrich = 1 msec.

In vertikaler Richtung entspricht ein Quadrat $40 \mu V$, ein Teilstrich $8 \mu V$.

Es wurden ermittelt:

- 1) Gipfelzeit der a-Welle
- 2) Gipfelzeit des 1.o.P.
- 3) Intervall a-Welle / 1.o.P.
- 4) Intervall 1.o.P. / 2.o.P.
- 5) Intervall 2.o.P. / 3.o.P.
- 6) Intervall letztes o.P. / b_1 -Welle
- 7) Gipfelzeit der b_1 -Welle
- 8) Amplitude der a-Welle
- 9) Amplitude der b_1 -Welle
- 10) Anzahl der o.P.
- 11) Zeitabstand der einzelnen o.P.

Wir teilten die Versuchsergebnisse in 3 Gruppen ein. Das Kriterium für die Zuordnung zur jeweiligen Gruppe stellte die Steigung der Kurve zwischen dem Tiefpunkt der a-Welle und dem Kulminationspunkt der b_1 -Welle dar. In Gruppe A (Bild 1 - 12) sind die flach verlaufenden Kurven, in Gruppe B (Bild I - VI) die steil verlaufenden und in Gruppe C (Bild a - d) die zwischen die eben genannten Typen einzuordnenden Kurven zusammen gefaßt.

Mittels einer Olivetti Programma Rechenmaschine wurden dann der Mittelwert und die Standardabweichung für jeweils alle Versuche zusammen und auch für die einzelnen Gruppen errechnet.

Um signifikante Unterschiede der Werte während der Dunkeladaptation im Verhältnis zum Ausgangswert (0 min) zu erkennen, wurde ein Student-t-Test durchgeführt.

7) Statistische Grundlagen:

Um eine Wahrscheinlichkeitsaussage über den Unterschied hinsichtlich eines Merkmales zwischen einer Stichprobe und Grundgesamtheit zu machen, muß man die Auswahl der Versuchspersonen dem Zufall überlassen. Eine Einschränkung fand bei unseren Untersuchungen nur insofern statt, daß wir nur augengesunde Probanden den Versuchsbedingungen unterwarfen. Bei einer normalen Verteilung gibt das arithmetische Mittel die einfachste statistische Aussage. Die Irrtumswahrscheinlichkeit oder die Fehlerbreite läßt uns dieser Mittelwert jedoch nicht erkennen. Durch die Bestimmung der Variationsbreite (Differenz aus dem größten und kleinsten gemessenen Wert) kann man sich ein Maß für die Variabilität der Werte beschaffen. Das hat

aber folgende Nachteile: Es werden nur zwei Werte berücksichtigt, und dieses Maß ist von der Anzahl der Beobachtungen abhängig.

Die Standardabweichung hat diese Mängel nicht. Sie ist die Quadratwurzel aus der Summe der Abweichungsquadrate, dividiert durch die Anzahl der Freiheitsgrade:

$$s = \sqrt{\frac{(\sum M - x)^2}{n - 1}}$$

M = Mittelwert

x = Einzelwert

n = Anzahl der Versuche

Aufgrund unseres kleinen Stichprobenumfanges konnten wir zur Berechnung der Vertrauensgrenzen nicht die aus der Normalverteilung abgeleiteten K-Werte berechnen, sondern verwendeten die von der Student-Verteilung abgeleiteten t-Werte. Diese sind auch bei einer kleinen Anzahl von Stichproben gültig.

$$t = \frac{M_A - M_B}{s} \cdot \sqrt{\frac{n_A \cdot n_B}{n_A + n_B}}$$

Der Student-t-Test ist ein Vergleich zweier Mittelwerte. Als Vergleichswert zogen wir die Bedingungen zum Zeitpunkt 0 min heran. Bei unseren Aussagen benutzen wir eine Signifikanzschwelle von 5%. Wird sie überschritten, so können wir folgern, daß die Mittelwerte verschieden sind und in unserem Fall tatsächlich eine Veränderung der jeweiligen Werte stattfand. Die sich vom Ausgangswert 0 min signifikant unterscheidenden Werte haben wir zur Verdeutlichung unterstrichen (siehe: Ergebnisteil).

E) Übersicht der Versuchsergebnisse:

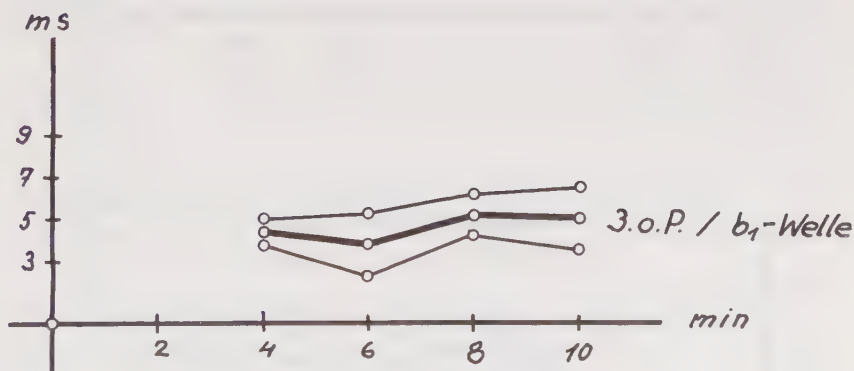
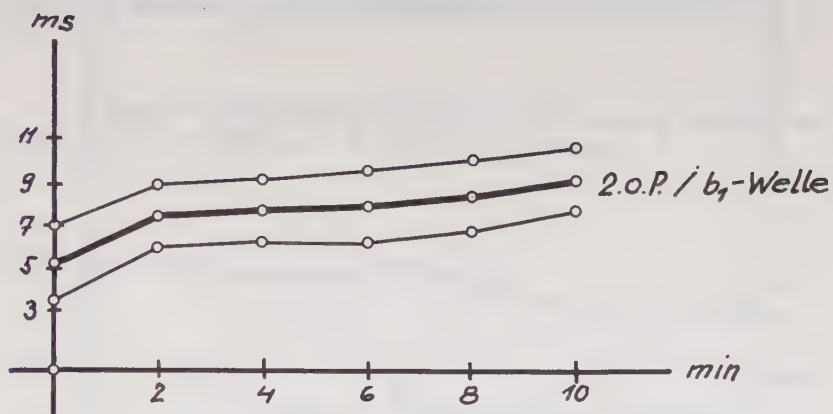
- 1) Graphische Darstellung
- 2) Tabellarische Zusammenfassung
- 3) Mittelwerte und Standardabweichungen

Häufigkeit des 3. o. P.

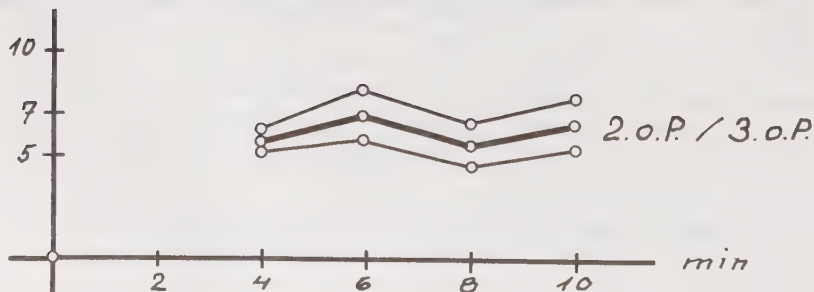
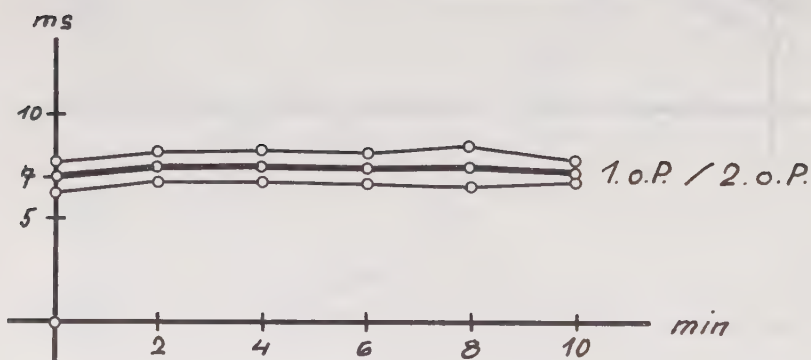
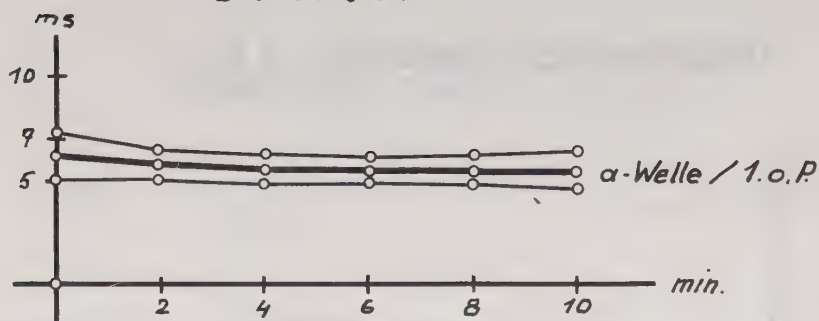


Perzentueller Anteil der Versuche mit
3. o. P. an der Gesamtzahl der Versuche

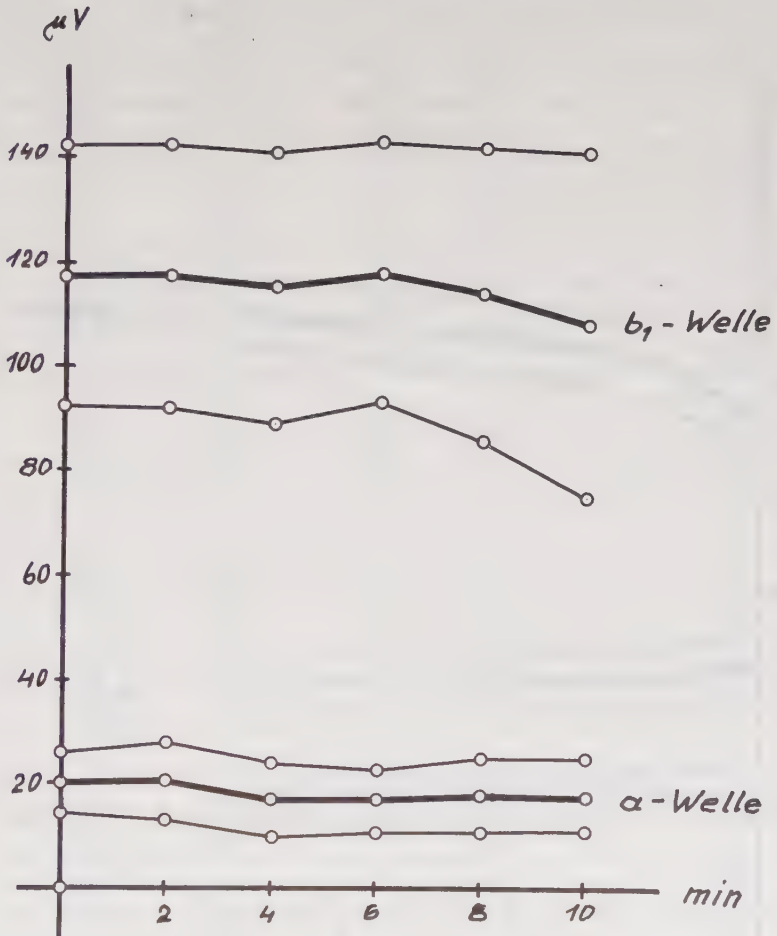
Intervall des letzten o. P.



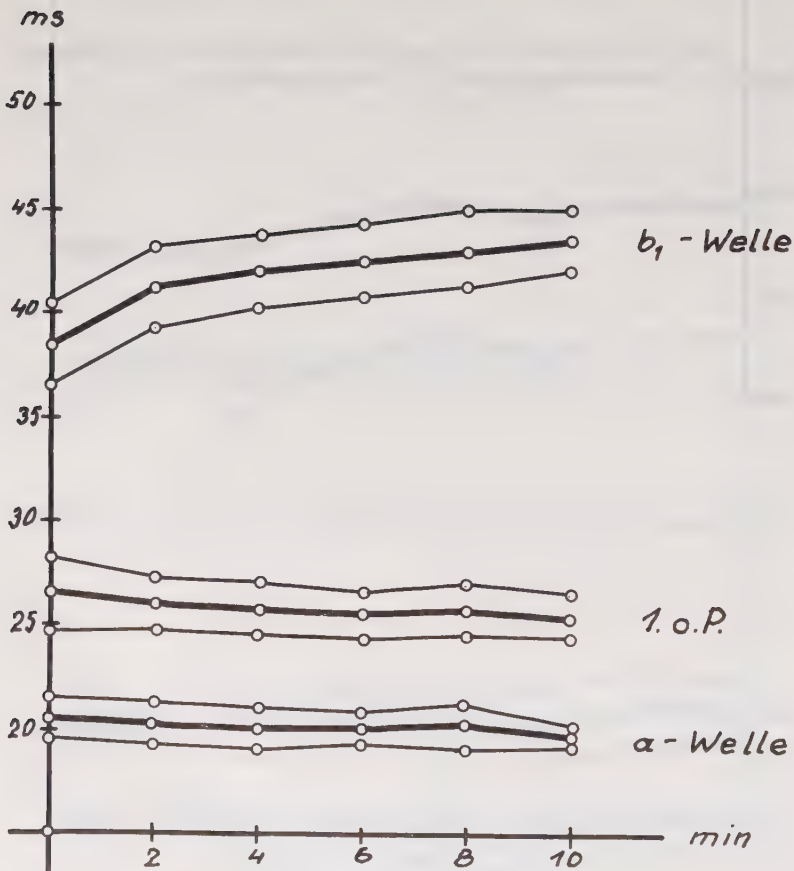
Intervall



Amplitude



Gipfelzeit



Zeitpunkt: 0 Min.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Bild	Gipfelz. der a-Welle	Gipfelz. des l.o.P.	Interv. a-Welle -l.o.P.	Interv. l.o.P.- 2.o.P.	Interv. 2.o.P.- 3.o.P.	Interv. d. letzt. o.P.-b ₁
1	21,5	25,5	4	7	-	5
2	19	26,5	7,5	7	-	3,5
3	20	27	7	6,5	-	4,5
4	19	25	6	7	-	4,5
5	20	27,5	7,5	7	-	3,5
6	20	25	5	7,5	-	6
7	20	27	7	7	-	3,5
8	20,5	26,5	6	7,5	-	6,5
9	19	24,5	5,5	7,5	-	6
10	20	27,5	7,5	-	-	10
11	-	-	-	-	-	-
12	21	27	6	7,5	-	5
I	22,5	30	7,5	-	-	6
Ia	-	-	-	-	-	-
II	21	26,5	5,5	7	-	4
III	20,5	26,5	6	6,5	-	5
IV	20,5	25	4,5	8	-	5
V	22,5	28	5,5	7,5	-	5
VI	-	-	-	-	-	-
a	19	24	5	7,5	-	4,5
b	21,5	28,5	7	6,5	-	3,5
c	22	30	8	7,5	-	9
d	20	25	5	7	-	6,5
M	20,47	26,62	6,15	7,16	-	5,32
s	1,1058	1,6770	1,1596	0,4213	-	1,7341

Zeitpunkt : 0 Min.

Spalte	1	2	3	4	5
Bild	Gipfelz. der b ₁ -Welle	Amplitude der a-Welle	Amplitude der b-Welle	Anzahl der o.P.	Zeitabstand der einzelnen o.Pot.
1	37,5	15	95	2	7
2	37	12	69	2	7
3	38	24	130	2	6,5
4	36,5	24	146	2	7
5	38	21	121	2	7
6	38,5	12	118	2	7,5
7	37,5	14	106	2	7
8	40,5	35	180	2	7,5
9	38	24	118	2	7,5
10	37,5	12	114	1	-
11	-	-	-	-	-
12	39,5	30	155	2	7,5
I	36	21	104	1	-
Ia	-	-	-	-	-
II	37,5	24	140	2	7
III	38	21	142	2	6,5
IV	38	17	104	2	8
V	40,5	21	96	2	7,5
VI	-	-	-	-	-
a	38	16	100	2	7,5
b	38,5	15	100	2	6,5
c	46,5	24	92	2	7,5
d	38,5	19	123	2	7
M	38,50	20,05	117,6	-	7,16
s	2,1884	6,1256	25,6725	-	0,4213

Zeitpunkt: 2 Min.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Bild	Gipfelz. der a-Welle	Gipfelz. des l.o.P.	Interv. a-Welle -l.o.P.	Interv. l.o.P.- 2.o.P.	Interv. 2.o.P.- 3.o.P.	Interv. d. letzt. o.P.-b ₁
1	21	26,5	5,5	7,5	-	6,5
2	20	25,5	5,5	8	-	7,5
3	20	26	6	7,5	-	8,5
4	18	23,5	5,5	7	-	9,5
5	20	26,5	6,5	6,5	-	8
6	20,5	25,5	5	7,5	-	8
7	20	25,5	5,5	7,5	-	9,5
8	20	25,5	5,5	7	6,5	3,5
9	19,5	24,5	5	?	?	?
10	20	25,5	5,5	8	-	6,5
11	-	-	-	-	-	-
12	21	26,5	5,5	8	-	9,5
I	20,5	26,5	6	7,5	-	3,5
Ia	-	-	-	-	-	-
II	21,5	28	6,5	7,5	-	5,5
III	20	?	?	?	?	?
IV	20	25	5	8	-	8
V	21,5	27,5	6	7,5	-	7
VI	-	-	-	-	-	-
a	18,5	25	6,5	7	-	8
b	20	27,5	7,5	8	-	7
c	23	29	6	10	-	8
d	20	24	4	8	-	9,5
M	20,25	25,97	5,71	7,66	-	ohne Nr.8 7,64
s	1,0575	1,3808	0,7513	0,7283	-	1,5889

Zeitpunkt: 2 Min.

Spalte	1	2	3	4	5
Bild	Gipfelz. der b ₁ -Welle	Amplitude der a-Welle	Amplitude der b-Welle	Anzahl der o.P.	Zeitabstand der einzelnen o.Pot.
1	40,5	30	87	2	7,5
2	41	13	80	2	8
3	42	33	143	2	7,5
4	40	21	108	2	7
5	41	27	120	2	6,5
6	41	16	138	2	7,5
7	42,5	17	97	2	7,5
8	42,5	30	166	3	7 / 6,5
9	41,5	24	104	?	?
10	40	14	114	2	8
11	-	-	-	-	-
12	44	28	108	2	8
I	37,5	35	180	2	7,5
Ia	-	-	-	-	8
II	41	14	106	2	7,5
III	39	14	118	?	?
IV	41	14	116	2	8
V	42	15	115	2	7,5
VI	-	-	-	-	-
a	40	12	112	2	7
b	42,5	18	140	2	8
c	47	28	108	2	10
d	41,5	12	92	2	8
M	41,37	20,75	117,6	-	7,68
s	1,9322	7,7857	25,0103	-	0,7113

Z e i t p u n k t : 4 Min.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Bild	Gipfelz. der a-Welle	Gipfelz. des 1.o.P.	Interv. a-Welle -1.o.P.	Interv. 1.o.P.- 2.o.P.	Interv. 2.o.P.- 3.o.P.	Interv. d.letzt. o.P.-b ₁
1	?	?	?	?	-	?
2	2o	26	6	7	-	9
3	2o	25	5	8	-	9
4	18	23	5	7,5	-	1o
5	2o	26	6	7,5	5,5	4
6	2o	25,5	5,5	7,5	-	9
7	2o	25	5	7,5	6	5
8	2o	25,5	5,5	6	6,5	5
9	2o	24	4	8,5	5,5	4,5
1o	19	24,5	5,5	8	-	8
11	-	-	-	-	-	-
12	?	?	?	8	-	5
I	2o	25,5	5,5	8	-	5
Ia	-	-	-	-	-	-
II	21,5	27	5,5	7,5	-	7,5
III	2o,5	?	?	?	-	?
IV	21	26	5	?	-	?
V	21,5	27	5,5	6	-	9,5
VI	-	-	-	-	-	-
a	18,5	25,5	7	7,5	-	7
b	2o	28	8	?	-	?
c	22	27,5	5,5	?	-	7,5
d	19,5	?	?	?	-	?
M	2o,08	25,68	5,59	7,46	5,87	mit 2(3)o.P. 7,86(4,62)
s	1,0o43	1,2893	o,8988	o,72o6	o,4787	mit 2(3)o.P. 1,6897(o,4787)

Zeitpunkt : 4 Min.

Spalte	1	2	3	4	5
Bild	Gipfelz. der b ₁ -Welle	Amplitude der a-Welle	Amplitude der b-Welle	Anzahl der o.P.	Zeitabstand der einzelnen o.Pot.
1	41	5	86	?	?
2	42	16	95	2	7
3	42	33	130	2	8
4	40,5	19	110	2	7,5
5	43	25	117	3	7,5/5,5
6	42	13	140	2	7,5
7	43,5	16	92	3	7,5/6
8	43	24	160	3	6 /6,5
9	42,5	17	100	3	8,5/5,5
10	40,5	7	125	2	8
11	-	-	-	-	-
12	43,5	?	105	2	8
I	38,5	26	181	2	8
Ia	-	-	-	-	-
II	42	14	90	2	7,5
III	39,5	17	128	?	?
IV	42	24	115	?	?
V	42,5	14	104	2	6
VI	-	-	-	-	-
a	40	13	128	2	7,5
b	43	14	132	?	?
c	47	17	79	?	?
d	42	12	83	?	?
M	42,0	17,15	115	-	7,46/5,87
s	1,7917	6,8010	26,3058	-	0,7206/0,4787

Zeitpunkt: 6 Min.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Bild	Gipfelz. der a-Welle	Gipfelz. des l.o.P.	Interv. a-Welle -l.o.P.	Interv. l.o.P.- 2.o.P.	Interv. 2.o.P.- 3.o.P.	Interv. d.letzt. o.P.-b ₁
1	20	25	5	8	-	9,5
2	20	26	6	7	-	10
3	19,5	25	5,5	6,5	9,5	1
4	18,5	23,5	5	7,5	-	10
5	20	26	6	8	-	8,5
6	20	25	5	7,5	-	10
7	19,5	25	5,5	7,5	6,5	5
8	20	25,5	5,5	?	?	5
9	19,5	24,5	5	7,5	6,5	4,5
10	19,5	24,5	5	7	-	8,5
11	-	-	-	-	-	-
12	?	?	?	8,5	6,5	3,5
I	20,5	25,5	5	7,5	-	7
Ia	-	-	-	-	-	-
II	20	26	6	8	-	8
III	20,5	27	6,5	7,5	-	5,5
IV	20	25	5	10	-	7
V	21,5	27,5	6	7	-	8,5
VI	-	-	-	-	-	-
a	18,5	23	4,5	7	6,5	4,5
b	19,5	26,5	7	7,5	-	9,5
c	22	27	5	?	-	5
d	20	?	?	?	-	?
M	19,94	25,41	5,47	7,61	7,10	mit 2(3) o.P. 8,00(3,70)
s	0,8333	1,1803	0,6526	0,7816	1,3416	mit 2(3) o.P. 1,8292(1,6046)

Zeitpunkt : 6 Min.

Spalte					
Bild	Gipfelz. der b ₁ -Welle	Amplitude der a-Welle	Amplitude der b-Welle	Anzahl der o.P.	Zeitabstand der einzelnen o.Pot.
1	42,5	24	71	2	8
2	43	19	97	2	7
3	42,5	28	130	3	6,5 / 9,5
4	41	17	107	2	7,5
5	42,5	25	115	2	8
6	42,5	9	150	2	7,5
7	44	16	90	3	7,5 / 6,5
8	44	21	134	?	?
9	43	12	92	3	7,5 / 6,5
10	40	9	128	2	7
11	-	-	-	-	-
12	44,5	?	120	3	8,5 / 6,5
I	40	26	184	2	7,5
Ia	-	-	-	-	-
II	42	12	132	2	8
III	40	14	112	2	7,5
IV	42	19	125	2	10
V	43	17	101	2	7
VI	-	-	-	-	-
a	41	19	127	3	7 / 6,5
b	43,5	10	144	2	7,5
c	47,5	19	111	?	?
d	42,5	10	100	?	?
M	42,55	17,15	118,5	-	7,61 / 7,10
s	1,7614	5,9282	24,9409	-	0,7816/1,3416

Zeitpunkt: 8 Min.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Bild	Gipfelz. der a-Welle	Gipfelz. des l.o.P.	Interv. a-Welle -l.o.P.	Interv. l.o.P.- 2.o.P.	Interv. 2.o.P.- 3.o.P.	Interv. d.letzt. o.P.-b ₁
1	20	25	5	7,5	-	10,5
2	20	26,5	6,5	?	?	?
3	20	25	5	7	-	11,5
4	18,5	23	4,5	7	5,5	5,5
5	20	26,5	6,5	7	5,5	4
6	20	25	5	8	5,5	4,5
7	20	25,5	5,5	8,5	5,5	5,5
8	20	25	5	7	7	5
9	20,5	25,5	5	7	-	10,5
10	-	-	-	-	-	-
11	19,5	24,5	5	7,5	-	8,5
12	20	26	6	8,5	6,5	4,5
I	-	-	-	-	-	-
Ia	20,5	26,5	6	7,5	-	6
II	21	26,5	5,5	7,5	-	8
III	22	?	?	?	?	?
IV	21	25	4	10	-	8
V	22,5	28,5	6	7,5	-	7
VI	-	-	-	-	-	-
a	18,5	25	6,5	8,5	3,5	5
b	19	26,5	7,5	7,5	4,5	6
c	23	28	5	7	5,5	7,5
d	21	?	?	?	?	7
M	20,35	25,75	5,52	7,67	5,44	mit 2(3)o.P. 8,55(5,27)
s	1,1708	1,2862	0,8660	0,8096	1,0141	mit 2(3) o.P. 1,8785(1,0345)

Zeitpunkt: 8 Min.

Spalte	1	2	3	4	5
Bild	Gipfelz. der b ₁ -Welle	Amplitude der a-Welle	Amplitude der b-Welle	Anzahl der o.P.	Zeitabstand der einzelnen o.Pot.
1	43	19	62	2	7,5
2	43,5	18	96	?	?
3	43,5	33	130	2	7
4	41	14	110	3	7 / 5,5
5	43	23	113	3	7 / 5,5
6	43	10	142	3	8 / 5,5
7	45	16	70	3	8,5 / 5,5
8	44	26	143	3	7 / 7
9	43	16	91	2	7
10	-	-	-	-	-
11	40,5	14	117	2	7,5
12	45,5	17	92	3	8,5 / 6,5
I	-	-	-	-	-
Ia	40	38	181	2	7,5
II	42	15	137	2	7,5
III	41,5	12	102	?	?
IV	43	14	127	2	10
V	43	18	110	2	7,5
VI	-	-	-	-	-
a	42	14	122	3	8,5 / 3,5
b	44,5	11	133	3	7,5 / 4,5
c	48	21	125	3	7 / 5,5
d	43	10	81	?	?
M	43,1	17,95	114,2	-	7,67/ 5,44
s	1,8107	7,3231	27,9710	-	0,8096/1,0141

Zeitpunkt: 10 Min.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Bild	Gipfelz. der a-Welle	Gipfelz. des l.o.P.	Interv. a-Welle -l.o.P.	Interv. l.o.P.- 2.o.P.	Interv. 2.o.P.- 3.o.P.	Interv. d. letzt. o.P.-b ₁
1	20	26	6	7,5	-	10,5
2	20	26	6	7,5	7,5	3
3	20	25	5	8	-	10,5
4	18	23	5	7,5	7,5	3,5
5	20	26	6	7	6	5
6	-	-	-	-	-	-
7	20	25	5	8	7,5	5,5
8	-	-	-	-	-	-
9	20	25	5	7,5	5,5	5,5
10	-	-	-	-	-	-
11	19	25	6	7,5	-	9
12	-	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	-
Ia	20	26	6	8	-	7
II	-	-	-	-	-	-
III	-	-	-	-	-	-
IV	-	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-
VI	20,5	27,5	7	8	-	9,5
a	-	-	-	-	-	-
b	-	-	-	-	-	-
c	-	-	-	-	-	-
d	20	24	4	7	4,5	7,5
M	19,77	25,31	5,54	7,59	6,41	mit 2(3)o.P. 9,30(5,0)
s	0,6851	1,1908	0,8206	0,3756	1,2816	mit 2(3)o.P. 1,4404(1,6124)

Zeitpunkt : 10 Min.

Spalte	1	2	3	4	5
Bild	Gipfelz. der b ₁ -Welle	Amplitude der a-Welle	Amplitude der b-Welle	Anzahl der o.P.	Zeitabstand der einzelnen o.Pot.
1	43,5	12	78	2	7,5
2	44	17	90	3	7,5 / 7,5
3	43,5	33	125	2	8
4	41,5	21	106	3	7,5 / 7,5
5	44	25	115	3	7 / 6
6	-	-	-	-	-
7	46	19	90	3	8 / 7,5
8	-	-	-	-	-
9	43,5	16	77	3	7,5/ 5,5
10	-	-	-	-	-
11	41,5	14	114	2	7,5
12	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-
Ia	41	26	190	2	8
II	-	-	-	-	-
III	-	-	-	-	-
IV	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-
VI	44,5	10	132	2	8
a	-	-	-	-	-
b	-	-	-	-	-
c	-	-	-	-	-
d	43	10	74	3	7 / 4,5
M	43,3	18,45	108,2	-	7,59/6,41
s	1,4733	7,2852	33,6782	-	0,3756/1,2816

Ergebnisse:

Abkürzungen:

M : Mittelwert
s : Standardabweichung
gr. W. : Größter gemessener Wert
kl. W. : Kleinster gemessener Wert
Anz. d. W. : Anzahl der ausgewerteten Versuche
Zeitpkt. : Dieser Wert gibt an, nach wie vielen
Minuten Dunkeladaptation gemessen wurde.

Werte, die sich signifikant vom Ausgangswert 0 min unterscheiden, sind unterstrichen.

1) Gipfelzeit der a-Welle in Abhängigkeit von der Dunkeladaptation:

Zeitpkt.	: 0 min	2	4	6	8	10
M (msec)	: 20,47	20,25	20,08	19,94	20,35	19,77
s	: 1,1058	1,0575	1,0043	0,8333	1,1708	0,6851
gr.W.	: 22,5	23,0	22,0	22,0	23,0	20,5
kl.W.	: 19,0	18,0	18,0	18,5	18,5	18,0
Anz.d.W.	: 20	20	18	19	20	11

2) Gipfelzeit des l.o.P. in Abhängigkeit von der Dunkeladaptation:

Zeitpkt. :	0 min	2	4	6	8	10
M (msec)	: 26,62	25,97	25,68	<u>25,41</u>	25,75	<u>25,31</u>
s	: 1,6770	1,3808	1,2893	1,1803	1,2862	1,1908
gr.W.	: 30,0	29,0	28,0	27,5	28,5	27,5
kl.W.	: 24,0	23,5	23,0	23,0	23,0	23,0
Anz.d.W.	: 20	19	16	18	18	11

3) Einfluß der Dunkeladaptation auf das Intervall
a-Welle/1.o.P.

Zeitpkt. :	o	2	4	6	8	10
M (msec) :	6,15	5,71	5,59	<u>5,47</u>	5,52	5,54
s	1,1596	0,7513	0,8988	0,6526	0,8660	0,8206
gr.W.	8,0	7,5	8,0	7,0	7,5	7,0
kl.W.	4,0	4,0	4,0	4,5	4,0	4,0
Anz.d.W.	20	19	16	18	18	11

4) Einfluß der Dunkeladaptation auf das Intervall
1.o.P./2.o.P.

Zeitpkt. :	o	2	4	6	8	10
M (msec) :	7,16	<u>7,66</u>	7,46	<u>7,61</u>	<u>7,67</u>	<u>7,59</u>
s	0,4213	0,7283	0,7206	0,7816	0,8096	0,3756
gr.W.	8,0	10,0	8,5	10,0	10,0	8,0
kl.W.	6,5	6,5	6,0	6,5	7,0	7,0
Anz.d.W.	18	18	14	17	17	11

5) Einfluß der Dunkeladaptation auf das Intervall
2.o.P./3.o.P.

Zeitpkt. :	o	2	4	6	8	10
M (msec) :	-	6,50	5,87	7,10	5,44	6,41
s	-	-	0,4787	1,3416	1,0141	1,2816
gr.W.	-	-	6,5	9,5	7,0	7,5
kl.W.	-	-	5,5	6,5	3,5	4,5
Anz.d.W.	-	1	4	5	9	6

Da wir zum Zeitpunkt 0 min in keinem Versuch und zum
Zeitpunkt 2 min nur in einem Versuch 3 o.P. nachweisen
konnten, fehlen zu diesen Zeiten die entsprechenden Werte.

6) Einfluß der Dunkeladaptation auf das Intervall zwischen dem letzten o.P. und der b_1 -Welle:

a) Werte für Versuche mit 2 o.P.

Zeitpkt. :	0	2	4	6	8	10
M (msec) :	5,32	<u>7,64</u>	<u>7,86</u>	<u>8,00</u>	<u>8,55</u>	<u>9,30</u>
s :	1,7341	1,5889	1,6897	1,8292	1,8785	1,4404
gr.W. :	10,0	9,5	10,0	10,0	11,5	10,5
kl.W. :	3,5	3,5	5,0	5,0	6,0	7,0
Anz.d.W. :	20	17	11	14	9	5

b) Werte für Versuche mit 3 o.P.

Zeitpkt. :	0	2	4	6	8	10
M (msec) :	-	3,50	4,62	3,70	5,27	5,00
s :	-	-	0,4787	1,6046	1,0345	1,6124
gr.W. :	-	-	5,0	5,0	7,5	7,5
kl.W. :	-	-	4,5	1,0	4,0	3,0
Anz.d.W. :	-	1	4	5	9	6

Da wir zum Zeitpunkt 0 min in keinem Versuch und zum Zeitpunkt 2 min nur in einem Versuch ein o.P. nachweisen konnten, fehlen hier die entsprechenden Werte.

7) Gipfelzeit der b_1 -Welle in Abhängigkeit von der Dunkeladaptation

Zeitpkt. :	0	2	4	6	8	10
M (msec) :	38,50	<u>41,37</u>	<u>42,00</u>	<u>42,55</u>	<u>43,10</u>	<u>43,30</u>
s :	2,1884	1,9322	1,7917	1,7614	1,8107	1,4733
gr.W. :	46,50	47,00	47,00	47,50	48,00	46,00
kl.W. :	36,00	37,50	38,50	40,00	40,00	41,00
Anz.d.W. :	20	20	20	20	20	11

8) Einfluß der Dunkeladaptation auf die Amplitude
der a-Welle

Zeitpkt. :	o	2	4	6	8	10
M (V) :	20,05	20,75	17,15	17,15	17,95	18,45
s :	6,1256	7,7857	6,8010	5,9282	7,3231	7,2852
gr.W. :	35,0	35,0	33,0	28,0	38,0	33,0
kl.W. :	12,0	12,0	12,0	9,0	10,0	10,0
Anz.d.W. :	20	20	19	19	20	11

9) Einfluß der Dunkeladaptation auf die Amplitude
der b_1 -Welle

Zeitpkt. :	o	2	4	6	8	10
M (V) :	117,6	117,6	115,0	118,5	114,2	108,2
s :	25,6725	25,0103	26,3058	24,9409	27,9710	33,6782
gr.W. :	180,0	180,0	181,0	184,0	181,0	190,0
kl.W. :	69,0	80,0	79,0	71,0	62,0	74,0
Anz.d.W. :	20	20	20	20	20	11

10) Einfluß der Dunkeladaptation auf die Anzahl
der o.P.

Zeitpkt.	o	2	4	6	8	10
Anz.d.Vers.						
mit 1 o.P.	2	-	-	-	-	-
Anz.d.Vers.						
mit 2 o.P.	18	17	10	12	8	5
Anz.d.Vers.						
mit 3 o.P.	-	1	4	5	9	6
Ges.Zahl						
d.Vers.	20	18	14	17	17	11

Mittelwerte und Standardabweichungen der
einzelnen Bildgruppen:

Gruppe A: Bild 1 bis 12

Gruppe B: Bild I bis VI

Gruppe C: Bild a' bis d

M : Mittelwert

s : Standardabweichung

Zeitpunkt 0 Min.:

Gipfelzeit der a-Welle:

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
M: 20,00	21,40	20,62
s: 0,80	1,02	1,37

Gipfelzeit des 1.o.P.:

M: 26,27	27,20	26,87
s: 1,08	1,89	2,83

Intervall a-Welle/1.o.P.:

M: 6,27	5,80	6,25
s: 1,14	1,09	1,50

Intervall 1.o.P./2.o.P.:

M: 7,15	7,25	7,12
s: 0,33	0,64	0,47

Intervall des letzten o.P./b₁-Welle:

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
M: 5,27	5,00	5,87
s: 1,88	0,70	2,42

Gipfelzeit der b₁-Welle:

M: 38,04	38,00	40,37
s: 1,13	1,62	4,09

Amplitude der a-Welle:

M: 20,27	20,80	18,50
s: 7,91	2,48	4,04

Amplitude der b₁-Welle:

M: 122,90	117,20	103,75
s: 29,95	21,98	13,37

Zeitabstand der einzelnen o.P.:

M: 7,15	7,25	7,12
s: 0,33	0,64	0,47

Zeitpunkt 2 Min.:

Gipfelzeit der a-Welle:

M: 20,00	20,70	20,32
s: 0,80	0,75	1,88

Gipfelzeit des l.o.P.:

M: 25,63	26,75	26,37
s: 0,95	1,32	2,28

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<u>Intervall a-Welle/1.o.P.:</u>		
M: 5,54	5,87	6,00
s: 0,41	0,62	1,47
<u>Intervall 1.o.P./2.o.P.:</u>		
M: 7,45	7,62	8,25
s: 0,49	0,25	1,25
<u>Intervall des letzten o.P./b₁-Welle:</u>		
M: 7,70	6,00	8,12
s: 1,85	1,95	1,03
<u>Gipfelzeit der b₁-Welle:</u>		
M: 41,45	40,10	42,75
s: 1,21	1,81	3,01
<u>Amplitude der a-Welle:</u>		
M: 23,00	18,40	17,50
s: 7,14	9,28	7,54
<u>Amplitude der b₁-Welle:</u>		
M: 115,00	127,00	113,00
s: 25,47	29,98	19,96
<u>Zeitabstand der einzelnen o.P.:</u>		
M: 7,45	7,70	8,25
s: 0,49	0,27	1,25

Zeitpunkt 4 Min.:

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<u>Gipfelzeit der a-Welle:</u>		
M: 19,62	20,90	20,00
s: 0,74	0,65	1,47
<u>Gipfelzeit des 1.o.P.:</u>		
M: 24,94	26,37	27,00
s: 0,98	0,75	1,32
<u>Intervall a-Welle/1.o.P.:</u>		
M: 5,27	5,37	6,83
s: 0,61	0,25	1,25
<u>Intervall 1.o.P./2.o.P.:</u>		
M: 7,55	6,75	7,50
s: 0,68	1,06	-
<u>Intervall 2.o.P./3.o.P.:</u>		
M: 5,87	-	-
s: 0,47	-	-
<u>Intervall des letzten o.P./b₁-Welle:</u>		
M: 8,33/4,62	7,33	7,25
s: 1,75/0,47	2,25	0,35
<u>Gipfelzeit der b₁-Welle:</u>		
M: 42,13	40,90	43,00
s: 1,10	1,78	2,94
<u>Amplitude der a-Welle:</u>		
M: 17,50	19,00	14,00
s: 8,38	5,65	2,16

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<u>Amplitude der b_1-Welle:</u>		
M: 114,54	123,60	105,50
s: 22,57	35,00	28,38
<u>Zeitabstand der einzelnen o.P.:</u>		
M: 7,55/6,00	7,16	7,50
s: 0,68/0,50	1,04	-
<u><u>Zeitpunkt 6 Min.:</u></u>		
<u>Gipfelzeit der a-Welle:</u>		
M: 19,65	20,50	20,00
s: 0,47	0,61	1,47
<u>Gipfelzeit des l.o.P.:</u>		
M: 25,00	26,20	25,50
s: 0,74	1,03	2,17
<u>Intervall a-Welle/l.o.P.:</u>		
M: 5,35	5,70	5,50
s: 0,41	0,67	1,32
<u>Intervall l.o.P./2.o.P.:</u>		
M: 7,50	8,00	7,25
s: 0,57	1,17	0,35
<u>Intervall 2.o.P./3.o.P.:</u>		
M: 7,50	-	-
s: 1,73	-	-
<u>Intervall des letzten o.P./b_1-Welle:</u>		
M: 8,83/3,50	7,20	4,50/7,25
s: 1,96/1,77	1,15	- /3,18

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<u>Gipfelzeit der b_1-Welle:</u>		
M: 42,68	41,40	43,62
s: 1,30	1,34	2,78
<u>Amplitude der a-Welle:</u>		
M: 18,00	17,60	14,50
s: 6,64	5,41	5,19
<u>Amplitude der b_1-Welle:</u>		
M: 112,18	130,80	120,50
s: 23,22	32,04	19,19
<u>Zeitabstand der einzelnen o.P.:</u>		
M: 7,50/7,50	8,00	7,25/6,50
s: 0,57/1,73	1,17	0,35/ -
<u><u>Zeitpunkt 8 Min.:</u></u>		
<u>Gipfelzeit der a-Welle:</u>		
M: 19,86	21,40	20,37
s: 0,50	0,82	2,05
<u>Gipfelzeit des l.o.P.:</u>		
M: 25,22	26,62	26,50
s: 0,98	1,43	1,50
<u>Intervall a-Welle/l.o.P.:</u>		
M: 5,36	5,37	6,33
s: 0,67	0,94	1,25

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<u>Intervall 1.o.P./2.o.P.:</u>		
M: 7,50	8,12	7,66
s: 0,62	1,25	0,76
<u>Intervall 2.o.P./3.o.P.:</u>		
M: 5,91	-	4,50
s: 0,66	-	1,00
<u>Intervall des letzten o.P./b₁-Welle:</u>		
M: 10,25/4,83	7,25	7,00/6,16
s: 1,25/0,60	0,95	- /1,25
<u>Gipfelzeit der b₁-Welle:</u>		
M: 43,18	41,90	44,37
s: 1,47	1,24	2,62
<u>Amplitude der a-Welle:</u>		
M: 18,72	19,40	14,00
s: 6,43	10,62	4,96
<u>Amplitude der b₁-Welle:</u>		
M: 106,00	131,40	115,25
s: 26,97	30,95	23,30
<u>Zeitabstand der einzelnen o.P.:</u>		
M: 7,50/5,91	8,12	7,66/4,50
s: 0,62/0,66	1,25	0,76/1,00

Gruppe A

Gruppe B

Gruppe C

Zeitpunkt 10 Min.:

Gipfelzeit der a-Welle:

M:	19,62	20,25	20,00
s:	0,74	0,35	-

Gipfelzeit des 1.o.P.:

M:	25,12	26,75	24,00
s:	0,99	1,06	-

Intervall a-Welle/1.o.P.:

M:	5,50	6,50	4,00
s:	0,53	0,70	-

Intervall 1.o.P./2.o.P.:

M:	7,56	8,00	7,00
s:	0,32	-	-

Intervall 2.o.P./3.o.P.:

M:	6,80	-	4,50
s:	0,97	-	-

Intervall des letzten o.P./b₁-Welle:

M:	10,00/4,50	8,25	7,50
s:	0,86/1,17	1,76	-

Gipfelzeit der b₁-Welle:

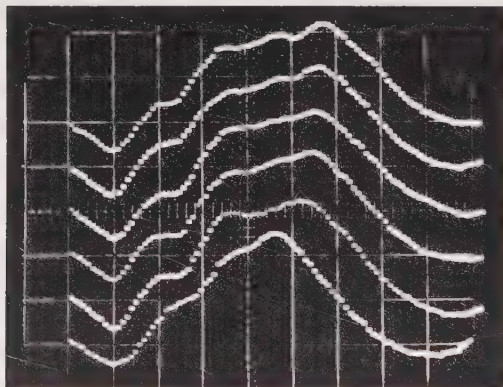
M:	43,43	42,75	43,00
s:	1,45	2,47	-

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<u>Amplitude der a-Welle:</u>		
M: 19,62	18,00	10,00
s: 6,75	11,31	-
<u>Amplitude der b₁-Welle:</u>		
M: 99,37	161,00	74,00
s: 18,09	41,01	-
<u>Zeitabstand der einzelnen o.P.:</u>		
M: 7,56/6,80	8,00	7,00/4,50
s: 0,32/0,97	-	- / -

F) Diskussion und Zusammenfassung:

- a) Die sogenannten oszillatorischen Potentiale (e-Welle) des menschlichen Elektroretinogramms treten zwischen den Gipfeln der a- und der b_1 -Welle auch unter klinischen Untersuchungsbedingungen in Erscheinung.
- b) Die Intervalle der Gipfelzeiten der a-Welle einerseits und der einzelnen o.P. andererseits sind annähernd gleich groß. Es wurden sowohl intra- als auch interindividuelle Unterschiede beobachtet.
- c) Mit zunehmender Verlängerung der Gipfelzeit der b_1 -Welle während Dunkeladaptation (s.S.22) wird häufig ein zusätzliches (drittes) o.P. im Kurvenabschnitt zwischen den Gipfeln von a- und b_1 -Welle "freigelegt":

Abb. 12:



- d) Eine Verkleinerung der b_1 -Welle bei zunehmender Adaptation (s.S. 21) könnte demnach auf dem

Ausfall der Summation der Gipfelhöhe der b_1 -Welle und des dritten o.P. beruhen.

- e) Zur Frage der Beziehung zwischen oszillatorischen Potentialen und der a-Welle tragen die dargestellten Untersuchungen nicht unmittelbar bei. Die weitgehend adaptationsunabhängige Gipfelzeit der a-Welle (s.S. 22) und deren ebenfalls adaptationsunabhängige Beziehung zu den oszillatorischen Potentialen (s.S. 22) könnte auf deren Eigenständigkeit deuten.
- f) Hinweise auf eine klinische Verwertbarkeit der oszillatorischen Potentiale im statischen und im Adaptations-ERG haben sich aus den dargestellten Untersuchungen nicht ergeben. Oszillatorische Potentiale können lediglich als Kriterium der Qualität einer klinischen ERG-Ableitung gelten.

Literaturverzeichnis

- 1) Algvere, P.: Studies of the Oscillatory Potentials
of the Clinclal ERG
Acta Ophtalmologica, Supplementum 1968
- 2) Algvere, P.: Clinclal Studies of the Oscillatory
Potentials of the Human ERG with
Special Reference to the Scotopic
b-Wave
Acta Ophtalmologica, Kbh 1968,46,993-1024
- 3) Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen
6. Auflage, Basel, 1960
- 4) François, J.: L'electro-diagnostic des affections
rétiniennes
Bulletin de la Société Belge d'Ophtal-
mologie, Numero 166, Fascicule 1,
Bruxelles, 1974
- 5) Jayle, G.E.: L'Electrorétinographie, Tome premier
Paris, 1965
- 6) Cavalli-Sforza, L.: Grundzüge biologisch-medizinischer
Statistik
G. Fischer-Verlag, Stuttgart, 1972
- 7) Tassy, A.F.: Utilisation de la methode de sommation
en electrophysiologie et electrodiagnostic
ophtalmologique
Thèse de médecine, Marseille, 1966
- 8) Wachtmeister, L.: On the Oscillatory Potentials of
the Human ERG in Light and Dark
Adaptation
Acta Ophtalmologica, Supplementum
116, Copenhagen, 1972

Danksagung

Die vorstehende Arbeit wurde auf Veranlassung und unter der Leitung von Herrn

Professor Dr. med. H a n s R e m k y
an der Augenklinik Prof. Remky ausgeführt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor R e m k y
für die Überlassung des Themas und für die tatkräftige
Förderung der vorliegenden Untersuchungen.

Ebenso danke ich für die großzügige Bereitstellung der
Räumlichkeiten und der Geräte.

L E B E N S L A U F

Am 6. März 1947 wurde ich als einziger Sohn der Angestellten Margot Bauleser und des Elektromechanikers Willy Gaebler in München geboren.

1953 erfolgte meine Einschulung in eine Münchner Volksschule.

1956 verstarb mein Vater.

Ab September 1958 besuchte ich in München das Maria-Theresia-Gymnasium, wo ich 1968 mit dem Abitur meine Schulausbildung abschloss.

Im Wintersemester 1968 begann ich in München ein Jurastudium. Ich mußte es jedoch nach einem Semester abbrechen, da ich im April 1969 zum Wehrdienst einberufen wurde, den ich als Sanitäter im Bundeswehrlazarett München ableistete.

Im April 1970 wurde ich freigestellt um das Medizinstudium aufzunehmen, das ich im Sommersemester 1970 an der Universität München begann.

Am 6. Februar 1976 beendete ich mein Hochschulstudium an dieser Universität mit bestandener ärztlicher Prüfung.

